

## ESTUDIO DE LA COBERTURA NIVOSA POR MEDIO DE SATELITES

*R. Riosalido*  
*I. N. M.*

### 1. Introducción

Un problema fundamental que se presenta para un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos almacenados en forma de nieve en las cuencas de montaña, es el de su correcta evaluación, lo que permite planificar adecuadamente diversas operaciones, sobre todo en lo que se refiere a la gestión de energía hidroeléctrica.

Para la evaluación del manto nivoso con fines hidrológicos se puede recurrir a diversas técnicas: medidas in situ (muy locales y por tanto poco representativas a nivel global requiriendo además un considerable esfuerzo), y técnicas de teledetección, bien a bordo de aviones (muy costosas) o utilizando datos procedentes de satélites.

Las técnicas que utilizan datos procedentes de satélites parecen ser las más prometedoras de cara al establecimiento de sistemas operativos de evaluación. Hasta ahora el parámetro que usualmente se ha obtenido y obtiene es el de la extensión de la superficie innivada para una determinada cuenca o subcuenca (la cual suele expresarse en tanto por ciento respecto de la superficie total o respecto a diferentes bandas de altitud) y que constituye un parámetro básico en los modelos combinados de fusión-escorrentia (2), (3).

### 2. Problemática de la teledetección de la nieve mediante satélites

Varios son los problemas que se plantean en la determinación de la superficie innivada a través de imágenes satélites, dejando a parte todos

los derivados de las correcciones geométricas, podemos citar como más importantes:

- Distinción de nieve-nubes bajas: Ya que presentan la misma reflectividad en el visible y una emisión parecida en el infrarrojo al encontrarse normalmente a temperaturas próximas (1). Esto puede resolverse mediante diferentes técnicas entre las que podemos citar la comparación de imágenes sucesivas (no eliminaría los problemas derivados de las nubes orográficas estacionarias además de necesitar una buena periodicidad de imágenes), métodos de reconocimiento de formas (muy costosos además de requerir alta resolución) y por último técnicas de clasificación automática basadas por lo general en la respuesta a los diferentes canales del visible e infrarrojo, confeccionando histogramas bidimensionales y basándose en las propiedades radiativas de la nieve y más concretamente en la fuerte disminución de su reflectividad en el infrarrojo próximo.
- Otros dos aspectos fundamentales son la resolución del satélite y la periodicidad de las imágenes proporcionadas por éste. Si nos concretamos a dos tipos de satélites: Meteorológicos (Meteosat y Tiros) y de recursos terrestres (tipo Landsat), vemos que el Meteosat con resoluciones del orden de 2,5 km (vis) a 5 km (ir) no es utilizable para una zona como podría ser el Pirineo español. En cuanto al TIROS, su radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) proporciona imáge-

nes en varios canales con una resolución de 1 km y al menos una vez al día, si desde el punto de vista de la periodicidad resulta ser óptimo (téngase en cuenta que muchas de las imágenes han de ser rechazadas por la presencia de nubes), su resolución resulta ser insuficiente para zonas de relieve muy accidentado como el Pirineo, aunque puede ser útil en otras zonas como por ejemplo el macizo central francés (4).

Los satélites de recursos terrestres como el Landsat ofrecen una muy alta resolución: 80 metros para el sensor MSS (multi-spectral scanner) y 40 m para el thematic-mapper, pero su periodicidad deja mucho que desear (1 imagen cada 18 días aproximadamente para el Landsat), lo que los hace ideales desde el punto de vista de la investigación y para la puesta a punto de técnicas de cara al lanzamiento de nuevos satélites que podrán ofrecer una periodicidad de imágenes más alta.

Por último hay que mencionar que los nuevos sensores en la región de las microondas ofrecen de cara al futuro una alternativa mucho más interesante debido a la relación que existe entre la emisividad en microondas de la nieve y otros parámetros vitales para la evaluación de recursos como son el espesor del manto de nieve o lo que es más importante su equivalente en agua, lo que puede permitir su estimación directa a partir de medidas en diferentes frecuencias (por ejemplo midiendo las diferencias de temperatura de brillo a 18 ghz y 37 ghz (6), (7)). El problema a resolver por ahora es el de la pobre resolución espacial de estos sensores.

### 3. Utilización de imágenes Landsat

Como ejemplo de las posibilidades que ofrecen los satélites del tipo Landsat se presentan a continuación una serie de fotografías obtenidas a partir de imágenes Landsat y mediante un sistema interactivo de visualización y análisis de

imágenes Numelec (Pericolor 1000) puesto a nuestra disposición amablemente por el NPOC de la CONIE.

El propósito de la experiencia se enmarcaba dentro de las actividades que el Centro Meteorológico del Ebro lleva a cabo en materia de meteorología pirenaica y dentro concretamente del plan meteorológico del Pirineo, y tenía por objeto un primer análisis cualitativo sobre las posibilidades de aplicación. Para ello se eligió entre el archivo de cintas Landsat de la Conie unas imágenes en que los Pirineos apareciesen totalmente despejadas de nubes y se efectuó un tratamiento elemental de éstas, fruto del cual son las fotografías que a continuación se presentan:

- Fotografía n.º 1.1: representa el conjunto de los Pirineos centrales, más parte de los orientales el día 12/5/79. Es una imagen en la banda MSS-5 (rojo 0,6-0,7  $\mu$ ) obtenida muestreando la imagen original a razón de una línea cada 14 y una columna cada 9, lo que da una resolución aproximada de alrededor de 1 km.
- Fotografía n.º 1.2: esta fotografía corresponde a la parte más oriental del Pirineo obtenida de la misma manera que la anterior pero aplicándole un algoritmo estándar de falso color combinando las imágenes de los canales MSS-4 (verde 0,5-0,6  $\mu$ ), MSS-5 (rojo 0,6-0,7  $\mu$ ) y MSS-7 (ir-próximo 0,7-1,1  $\mu$ ).
- Fotografía n.º 1.3: constituye una subescena de la primera pero tomada a máxima resolución (57 x 79 m) también en falso color. Corresponde a parte de la cuenca del río Lladorre e ilustra perfectamente uno de los problemas que se plantean a la hora de intentar cartografiar de una manera automática la superficie innivada que es, tal y como se aprecia perfectamente en la fotografía, la diversidad de condiciones de iluminación (con sombras propias y proyectadas) en zonas de relieve acusado (cuando se mide en el VIS o I. R. próximo), lo que hace difícil fijar un valor umbral de brillo por encima de cual un determinado pixel pueda ser clasificado como nieve.

- Fotografías n.º 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7: corresponden también a una subescena de la primera a máxima resolución centrada en el valle de Ordesa. Las diferentes fotografías corresponden a las distintas bandas: MSS-4, MSS-5, MSS-7 y a una composición de ellas en falso color (n 7). En esta subescena también puede apreciarse, aunque en menor medida el efecto de la diferente iluminación a causa del relieve.

Para superar este efecto se utilizan diversos métodos entre los que destaca el uso de modelos digitales del terreno (5), que junto con información sobre la posición del sol y del satélite pueden utilizarse para corregir y homogeneizar la iluminación en toda la imagen. Otra alternativa consiste en utilizar las diferentes bandas para construir pseudoimágenes por combinaciones entre ellas intentando eliminar estos problemas. Un ejemplo de estos últimos métodos lo constituyen las siguientes fotografías.

- Fotografía n.º 1.8: es una pseudo-imagen en falso color obtenida asignando a cada pixel el valor digital mínimo de entre las tres bandas (MSS-4, 5 y 7). Si se compara por ejemplo con la fotografía obtenida en la banda MSS-7 (fotografía 1.6) se observa claramente que las zonas que aparecen de color rojo corresponden a zonas nevadas cuya exposición a los rayos solares es máxima, mientras que las zonas con mayor o menor sombra aparecen de color verde-amarillo e incluso azul. La identificación de estas últimas zonas como nieve o no, resulta ser primordial.
- Fotografía n.º 1.9: similar a la anterior sólo que se ha formado con los valores digitales intermedios de los tres canales antes mencionados.
- Fotografía n.º 1.10: constituida por los valores máximos de los tres canales. en ella se puede observar cómo prácticamente ya toda la zona que puede identificarse como nieve aparece de color rojo, pero aún queda una zona (en la parte superior de la fotografía y hacia la izquierda) en la que apa-

recen unas bandas de color azulado y que se corresponden con zonas muy sombreadas (ver fotografía 1.6).

Con el objetivo de identificar concretamente si estas zonas corresponde o no a nieve, se ha apicado un algoritmo similar al descrito en (8). Para ello se han clasificado para cada pixel los valores radiométricos en cada una de las tres bandas según valores crecientes formando un triplete ordenado y definiendo a continuación una relación de distancia entre las bandas en función de estos valores

$$0 \leq R \leq \frac{N}{D} = \frac{\text{Niv. máximo} - \text{Niv. intermedio}}{\text{Niv. máximo} - \text{Niv. mínimo}} \leq 1$$

Además de esta relación de distancia se define una relación de orden entre los números de las bandas asignando un valor a un parámetro A dependiendo de en qué banda se encuentre el valor mínimo y de manera que la expresión  $T = A + 10 \times R$  tome valores entre 0 y 60 definiendo de una manera continua todas las posiciones relativas de las bandas entre sí independiente del nivel de iluminación. Una vez hecho esto se puede obtener un histograma de los valores de T y por umbralización puede obtenerse el número de pixeles que pueden clasificarse como nieve y que según (8) serían aquellos en que  $20 \leq T \leq 37$ .

Aplicando este algoritmo a nuestra imagen hemos obtenido que el 44,47 % de los pixel pueden clasificarse como puntos nieve, lo que correspondería a una superficie innivada de 131,235 kilómetros cuadrados (sobre un total de 295.108 km<sup>2</sup> que representa el área abarcada por la imagen).

Por último en la fotografía n.º 1.11 se ha intentado representar en falso color las zonas clasificadas como nieve y que de alguna manera se ven afectadas por algún tipo de sombras. En ellas aparece oscurecido (con un rayado superpuesto debido a un defecto) las zonas de nieve expuestas directamente al sol (compárese con la fotografía n.º 1.8) y de un tono azulado el resto de la nieve, poniendo de manifiesto cómo las zonas oscuras en la parte superior izquierda de las imágenes originales pueden clasificarse como nieve a pesar de su bajo valor digital.

## Agradecimientos

Mi agradecimiento a don José M. de la Cruz (Npoc. Conie) por el material básico y las facilidades dadas para la realización de este trabajo en las instalaciones de Conie, y a don Rufino Barco por su ayuda y asesoramiento en el manejo del equipo.

- (1) MARBOUTY, D.; OBLED, CH. et GUILLOT, P.: "Les images de satellite et les mesures de la couche de neige". La Houille Blanche, 7/8 1978.
- (2) RANGO, A. and MARTINEC, J.: "Accuracy of snowmelt runoff simulation". Nordic Hidrology 12, 1981.
- (3) RANGO, A. and MARTINEC, J.: "Application of a snowmelt-runoff model using Landsat data". Nordic Hidrology 10, 1979.
- (4) DENEAU, V.; LEPRIEUR, C. et SAINT, G.: "Teledetection de la surface enneige sur les plateaux de massif central".
- (5) LICHTENEGGER, J.; SEIDEL, K.; KELLER, M. and HAEFNER, H.: "Snow surface measurements from digital Landsat MSS data". Nordic Hidrology 12, 1981.
- (6) RANGO, A.; CHANG, A. T. C. and FOSTER, J. L.: "Spaceborne microwave radiometers for monitoring snowpack properties". Nordic Hidrology 10, 1979.
- (7) ESA. Working group report on microwave remote sensing of snow.
- (8) LEPRIEUR, C.; TRAZET M. et FAVARD, J. C.: "Cartographie automatique du manteau neigeux a l'aide de satellite Landsat". Photo-interpretation 6, 1979.





Figura 1.1.

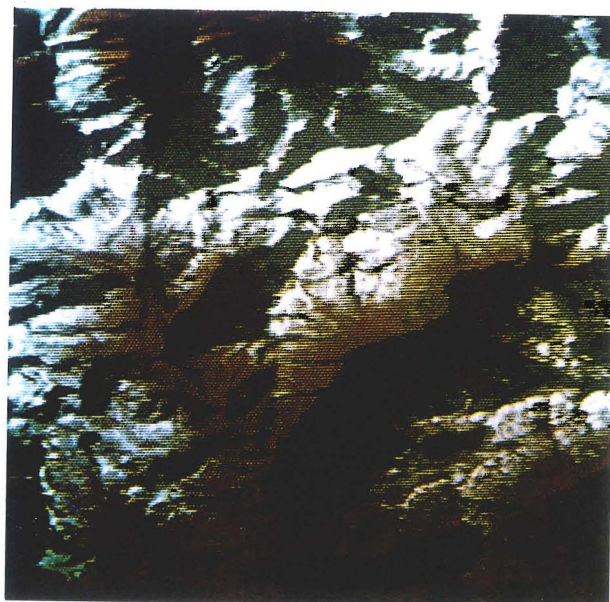


Figura 1.3.



Figura 1.2.



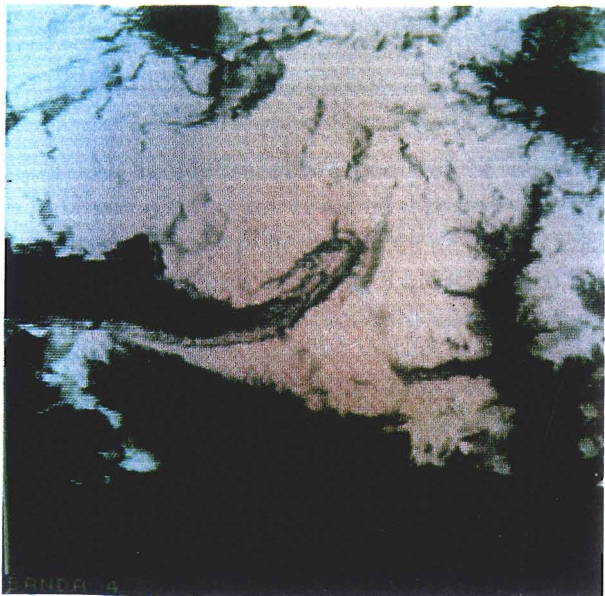


Figura 1.4.



Figura 1.6.

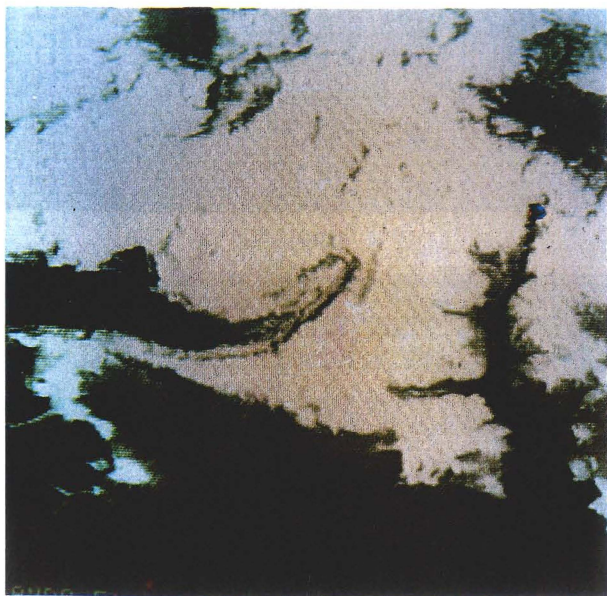


Figura 1.5.



Figura 1.7.



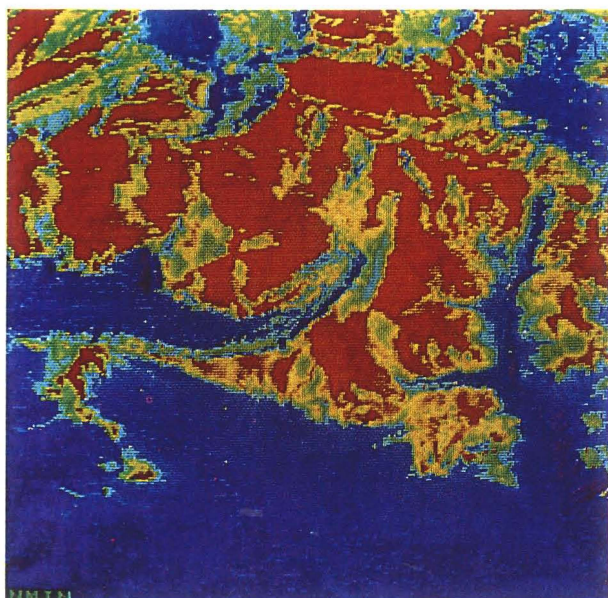


Figura 1.8.

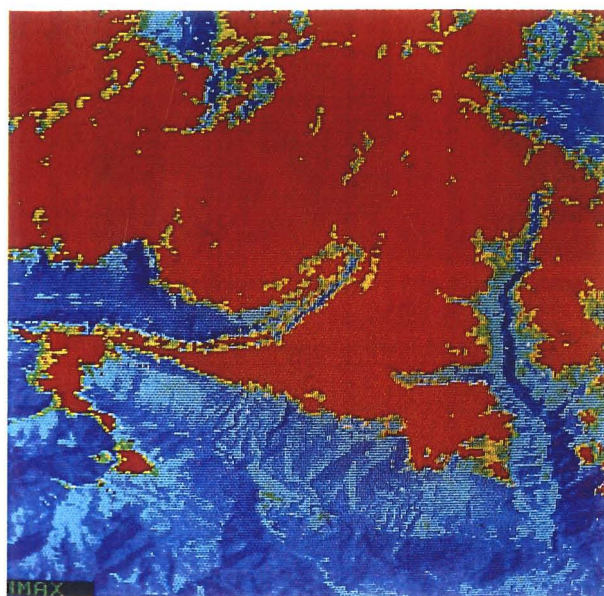


Figura 1.10.

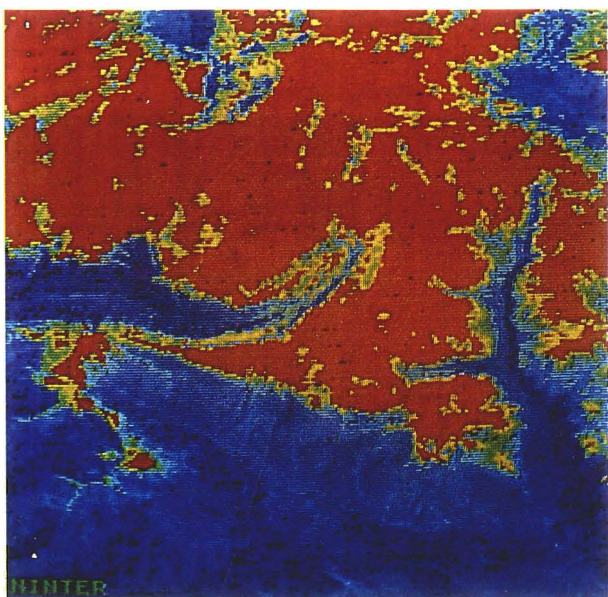


Figura 1.9.

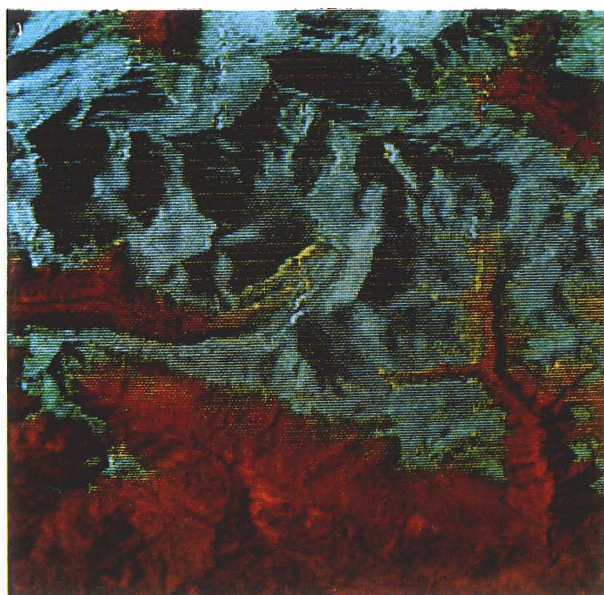


Figura 1.11.